

(11) 特許出願公開番号

(43)公開日 平成11年(1999)6月8日

H01F 10/30

(74) 代理人 弁理士 野▲崎▼ 照夫



3

導率を向上させた薄膜磁気ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】図16は、従来の薄膜磁気ヘッドを記録媒体の対向側から示した拡大断面図である。この薄膜磁気ヘッドは、磁気抵抗効果を利用した読み出しヘッドであり、例えば浮上式ヘッドを構成するスライダのトレーリング側端面に設けられる。なお、図16に示す薄膜磁気ヘッド（読み出しヘッド）の上に書き込み用のいわゆるインダクティブヘッドが積層されていてもよい。図16に示す符号1は、センダストやNi-Fe系合金（パーマロイ）などにより形成された下部シールド層である。この下部シールド層1の上に、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（アルミナ）などの非磁性材料による下部ギャップ層20が形成され、さらにその上に磁気抵抗効果素子層16が成膜される。

【0003】前記磁気抵抗効果素子層16には、磁気抵抗効果を示す素子を用いたAMR（anisotropic magnetoresistive）素子と巨大磁気抵抗効果を示す素子を利用したGMR（giant magnetoresistive）素子とがあるが、高記録密度化に対応するには、再生感度に優れたGMR素子を用いる方が好ましい。巨大磁気抵抗効果を生み出す構造にはいくつかの種類があるが、そのなかで比較的構造が単純で、弱い磁界で抵抗が変化するの、スピバルブ型薄膜素子と呼ばれる構造である。前記スピバルブ型薄膜素子は最も単純な構造で4層から成り、フリー磁性層（Ni-Fe合金）、非磁性導電層（Cu）、固定磁性層（Ni-Fe合金）、および反強磁性層（Fe-Mn合金など）で形成されている。

【0004】図16に示すように、前記磁気抵抗効果素子層16の両側には、縦バイアス層としてハードバイアス層4が形成され、さらに前記ハードバイアス層4の上にCu（銅）、W（タングステン）などの電気抵抗の小さい非磁性導電性材料の電極層5が形成される。なお、前記磁気抵抗効果素子層16が、前述したスピバルブ型薄膜素子により形成された場合、前記電極層5に検出電流（センス電流）が与えられると、前記検出電流はスピバルブ型薄膜素子の固定磁性層、非磁性導電層、およびフリー磁性層に流れるようになっている。そして、図16に示すように、前記電極層5の上には、アルミナなどの非磁性材料による上部ギャップ層21が形成され、さらに前記上部ギャップ層21の上には、センダストやパーマロイなどによる上部シールド層7が形成される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、高記録密度化に伴い、磁気抵抗効果素子層16の再生感度をより向上させるには、電極層5からの電流密度を増大させる必要があるが、前記電流密度を増大させると、前記磁気抵抗効果素子層16からの発熱量が増加し、その結果、前記磁気抵抗効果素子層16の素子部温度が上昇してしまうという問題点があった。これは、前記磁気抵抗効果

4

素子層16の上下に形成されているギャップ層20、21がAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの熱伝導率の低い絶縁膜で形成されているためである。

【0006】前記磁気抵抗効果素子層16の素子部温度が上昇すると、例えば前記磁気抵抗効果素子層16がスピバルブ型薄膜素子で形成されている場合、固定磁性層およびフリー磁性層を構成するNi-Fe系合金のNiと、非磁性導電層を構成するCuとが拡散を起こし、多層構造が崩れるという問題があった。多層構造が崩れると、スピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率は低下し、再生感度は低下してしまう。またスピバルブ型薄膜素子に限らず、AMR効果を利用した薄膜磁気ヘッドにおいても、素子部温度の上昇はエレクトロマイグレーションを発生させ、素子への信頼性、および素子の寿命を低下させる。

【0007】本発明は上記従来の問題を解決するためのものであり、磁気抵抗効果素子層の上下に形成されるギャップ層の材質または構造を改良して、前記ギャップ層の熱伝導率を高くすることにより、素子部で発生した熱を上下シールド層へ逃がすことができるようにし、よって電流密度を上げることが可能となり、前記磁気抵抗効果素子層の再生感度を向上させることができるようにした薄膜磁気ヘッドを提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、下部シールド層の上に下部ギャップ層を介して形成された磁気抵抗効果素子層と、前記磁気抵抗効果素子層に検出電流を与える電極層と、前記電極層の上に上部ギャップ層を介して形成された上部シールド層とから成る薄膜磁気ヘッドにおいて、前記下部ギャップ層と上部ギャップ層のうち少なくとも一方は、AlN、SiC、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）、BN、MgO、SiAlON、AlON、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiCO、SiN、SiON、SiCONのいずれか1種または2種以上から成る絶縁膜により形成されていることを特徴とするものである。

【0009】上記した絶縁膜は、いずれも従来からギャップ層として使用されているAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの熱伝導率よりも高い熱伝導率を有している。

【0010】また本発明では、前記絶縁膜は、全体が結晶質相の膜構造を有していることがより好ましい。これは、全体が結晶質相であると、前記絶縁膜の熱伝導率をより向上させることができるからである。

【0011】なお本発明では、前記絶縁膜は、結晶質相の中に少量の非晶質相が混在した膜構造を有するものであってもよい。ただし、非晶質相が多くなりすぎると、前記絶縁膜の熱伝導率が低下しすぎて好ましくないもので、できる限り前記非晶質相を少なくして、結晶質相を多くする必要がある。

【0012】また本発明では、前記絶縁膜に、非磁性金属粒子が混在しているものであってもよい。前記非磁性

5

金属粒子は、前記絶縁膜よりもさらに高い熱伝導率を有しているため、前記絶縁膜に前記非磁性金属粒子を混在させることで、より高い熱伝導率を得ることが可能となる。

【0013】なお、本発明では、前記非磁性金属粒子は、Cu、Ag、Au、Ti、Crのうちいずれか1種または2種以上の合金により形成されることが好ましい。

【0014】また、前記非磁性金属粒子の平均粒径は数nm以下であることが好ましい。平均粒径が大きくなりすぎると、ギャップ層に占める非磁性金属粒子の体積比率が大きくなり、逆に絶縁膜の占める体積比率が小さくなってしまいうため、絶縁性が低下したり、あるいは絶縁性が全く無くなってしまふことがある。このため、前記非磁性金属粒子の平均粒径はできる限り小さい方が好ましい。

【0015】ところで、上述した絶縁膜の中でも、結晶性が良く、且つ高い熱伝導を有するAlNを絶縁膜として使用することがより好ましい。

【0016】特に前記絶縁膜がAlNで形成される場合、結晶質相のある結晶面が、膜面に垂直な方向に優先配向していることが、AlN膜の熱伝導率を向上できる点で好ましい。

【0017】具体的には、前記結晶質相の(002)面が膜面に垂直な方向に配向しているか、あるいは(220)面が膜面に垂直な方向に配向していることが好ましい。

【0018】または、前記結晶質相の(002)面が膜面に垂直な方向に優先配向していることが好ましく、具体的な(002)面の配向度について、X線回折による(002)面/(220)面のピーク強度比が、0より大きく3.5以下であるか、あるいは9.7以上であることが好ましい。

【0019】また本発明では、AlNにおける結晶質相間の結晶粒界相は、軽元素を含む非晶質相で形成されることが好ましい。これは、AlNのアルカリ水溶液に対する耐食性を向上させるためである。

【0020】なお本発明では、前記軽元素は、B、C、O、Siのうちいずれか1種または2種以上の混合物により形成されることが好ましい。

【0021】さらに本発明では、前記絶縁膜の上層には、絶縁材料製の保護層が形成されることが好ましい。

【0022】特に前記絶縁膜がAlNで形成される場合、前記保護層は、AlNのアルカリ水溶液に対する耐食性をより向上させる役割と、AlNで形成されたギャップ層表面の平坦化を実現するために設けられる。

【0023】なお前記保護層は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、SiCのいずれか1種または2種以上の混合物で形成されることが好ましい。

【0024】また本発明では、前記絶縁膜の下層には、

6

絶縁材料製で且つ非晶質相の下地密着層が形成されることが好ましい。

【0025】なお前記下地密着層は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si、SiO<sub>2</sub>、SiN、SiCのいずれか1種または2種以上の混合物で形成されることが好ましい。

【0026】さらに前記下地密着層は、100オングストローム以下で形成されることが好ましい。

【0027】絶縁膜の下層として、下地密着層を設ける理由は、特に前記絶縁膜がAlNやDLCなどで形成される場合、前記絶縁膜は、下地層との密着性が非常に悪く、また膜応力も大きいため、前記絶縁膜は剥離しやすいという問題点があったからである。

【0028】このため、前記絶縁膜がAlNやDLCで形成される場合、前記絶縁膜の下地層として、密着性が良く、また膜応力が小さいAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの下地密着層を予め成膜しておくことが、前記絶縁膜の剥離を低減できて好ましい。

【0029】ただしこの場合、前記下地密着層をできる限り薄く形成して、具体的には、100オングストローム以下で形成して、前記下地密着層の膜構造を非晶質相としておく必要がある。

【0030】仮に、前記下地密着層が結晶質相であると、前記下地密着層における結晶質相の格子定数と、前記絶縁膜における結晶質相の格子定数との相違により、前記絶縁膜の膜応力が大きくなってしまい、前記絶縁膜が剥離しやすくなるからである。

【0031】また本発明は、下部シールド層の上に下部ギャップ層を介して形成された磁気抵抗効果素子層と、前記磁気抵抗効果素子層に検出電流を与える電極層と、前記電極層の上に上部ギャップ層を介して形成された上部シールド層とから成る薄膜磁気ヘッドにおいて、前記下部ギャップ層と上部ギャップ層のうち少なくとも一方は、絶縁層と非磁性金属層とが交互に積層された多層構造で形成され、且つ前記磁気抵抗効果素子層と対向する層が前記絶縁層により形成されていることを特徴とするものである。

【0032】この発明では、絶縁性を有する絶縁層と、絶縁層との間に高い熱伝導率を有する非磁性金属層を介在させているので、ギャップ層の絶縁性を十分に確保することができると同時に、前記ギャップ層の熱伝導率を向上させることが可能である。

【0033】また本発明では、前述した絶縁層と非磁性金属層との多層構造の中でも、最も単純な構造、つまり前記ギャップ層が、前記絶縁層と非磁性金属層とが1層ずつ積層された2層構造で形成されており、磁気抵抗効果素子層と対向する層が前記絶縁層により形成され、シールド層と対向する層が前記非磁性金属層により形成されているようにすると、最も少ない製造工程数で前記ギャップ層を多層構造(2層構造)にすることができ、しかも容易に製造できるのが好ましい。

7

【0034】なお、本発明では、前記絶縁層は、前述した例えばAlNなどの熱伝導率に優れた絶縁膜により形成されていることが好ましい。また前記絶縁膜の結晶性を良くして、さらに前記絶縁膜に非磁性金属粒子を混在させると、前記絶縁層の熱伝導率をより向上させることができる。

【0035】また、前記非磁性金属層は、Cu、Ag、Au、Ti、Crのうちいずれか1種または2種以上の合金により形成されることが好ましい。

【0036】さらに本発明では、前記上部ギャップ層が、絶縁層と非磁性金属層との多層構造あるいは2層構造で形成される場合、前記電極層と、前記上部ギャップ層の上に形成される主電極層との接続部の周囲には、前記非磁性金属層が形成されないようにすることが必要である。

【0037】これは、前記非磁性金属層が、電極層と主電極層との接続部に接して形成されていると、主電極層から電極層に流れるべき電流が、前記非磁性金属層にも流れてしまうからである。

【0038】なお本発明では、ギャップ層が絶縁層と非磁性金属層との多層構造あるいは2層構造で形成される場合、前述したように前記絶縁層は、熱伝導率の優れた例えばAlNなどで形成されることが好ましいが、従来からギャップ層として使用されている絶縁性に優れたAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>などを前記絶縁層として使用してもよい。

【0039】ただしこの場合、前記絶縁層はできる限り薄く形成される必要がある。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>など熱伝導率の低い絶縁膜により絶縁層が厚く形成されると、磁気抵抗効果素子層から発生する熱が、前記絶縁層を介して非磁性金属層まで伝わらず、結局従来と同様に、前記磁気抵抗効果素子層の素子部温度上昇を抑制することができないからである。なおAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>などの絶縁膜は高い絶縁性を有しており、従って前記絶縁層の膜厚が薄くても十分に高い絶縁性を発揮することができる。

【0040】以上のように本発明では、ギャップ層の材質や構造を改良することにより、前記ギャップ層の絶縁性を維持しつつ、前記ギャップ層の熱伝導率を向上させることが可能である。

【0041】従って高記録密度化に伴い電流密度を高めても、磁気抵抗効果素子層から発生する熱は、熱伝導率に優れたギャップ層を介してシールド層にまで伝わり、前記磁気抵抗効果素子層の素子部温度上昇を抑制することが可能となり、よって前記磁気抵抗効果素子層の再生感度を向上させることができる。

【0042】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の第1の実施形態としての薄膜磁気ヘッドを記録媒体の対向側から示した拡大断面図、図2は図1の平面図、図3は図2に示す3-3線の断面図である。図1、図2に示す薄膜磁気ヘッドは、

8

ドは、浮上式ヘッドを構成するスライダのトレーリング側端面に形成されたものであり、読み出しヘッドのみで構成されている。ただし本発明では、前記読み出しヘッド上にコアとコイルとで構成される書き込み用のインダクティブヘッドが積層された、いわゆるMR/インダクティブ複合型薄膜磁気ヘッドであってもよい。

【0043】なお、前記読み出しヘッドは、磁気抵抗効果を利用してハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界を検出し、記録信号を読み取るものである。図1および図3に示す最も下側に形成された層は、センダストやNi-Fe系合金（パーマロイ）などにより形成された下部シールド層1であり、この下部シールド層1の上に下部ギャップ層2が設けられている。

【0044】前記下部ギャップ層2の上には、磁気抵抗効果素子層16が形成されている。この磁気抵抗効果素子層16は、例えば、軟磁性材料（Co-Zr-Mo系合金またはNi-Fe-Nb系合金）によるSAL層、非磁性材料製のSHUNT層（例えばTa（タンタル））、磁気抵抗効果を有するMR層（Ni-Fe系合金）の3層構造で形成されたAMR素子や、反強磁性層（例えばPt-Mn合金）、固定磁性層（例えばNi-Fe系合金、Co、Co-Fe系合金、Co-Ni系合金、Ni-Fe-Co系合金）、非磁性導電層（Cu）、およびフリー磁性層（例えばNi-Fe系合金、Co、Co-Fe系合金、Co-Ni系合金、Ni-Fe-Co系合金）の4層構造で形成されたスピンバルブ型薄膜素子（GMR素子の1種）などである。

【0045】この磁気抵抗効果素子層16の両側には、ハードバイアス層4と電極層5とが形成されている。例えば前記磁気抵抗効果素子層16が前述したスピンバルブ型薄膜素子で形成されている場合、前記ハードバイアス層4からのバイアス磁界は、フリー磁性層に与えられ、前記電極層5からの検出電流（センス電流）は、固定磁性層、非磁性導電層、およびフリー磁性層に与えられる。

【0046】なお前記ハードバイアス層4は、例えばCo-Pt（コバルト-白金）合金やCo-Cr-Pt（コバルト-クロム-白金）合金などで形成されている。また電極層5はCr（クロム）、Ta（タンタル）、Cu（銅）などにより形成されている。前記電極層5の上には、上部ギャップ層6が形成され、前記上部ギャップ層6の上には、パーマロイなどの磁性材料製の上部シールド層7が形成されている。この上部シールド層7の形状は上から見ると図2に示すような形状となっている。

【0047】図2および図3に示すように、上部ギャップ層6の上には、前記電極層5と対向する位置に主電極層8が形成されている。図3に示すように、前記電極層5と主電極層8とが対向する上部ギャップ層6には、前記電極層5と主電極層8と同様にCo（銅）やCr（クロム）などの磁性材料製の上部シールド層7が形成されている。この上部シールド層7の形状は上から見ると図2に示すような形状となっている。



9

ロム)などで形成された接続部9が形成され、この接続部9により電極層5と主電極層8とが電気的に繋がった状態となっている。

【0048】本発明では、前記下部ギャップ層2と上部ギャップ層6のうち少なくとも一方(以下、ギャップ層2, 6と記す)が、AlN, SiC, DLC(ダイヤモンドライクカーボン)、BN, MgO, SiAlON, AlON, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiCO, SiN, SiON, SiCONのいずれか1種または2種以上から成る絶縁膜により形成されている。これらの絶縁膜は、いずれもAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>に比べて高い熱伝導率を有している。このため、本発明では、上述した絶縁膜によりギャップ層2, 6を形成することにより、前記ギャップ層2, 6の熱伝導率を向上させることが可能となっている。下に示す表1には、参考として、主な絶縁材料のバルク材における熱伝導率が示されている。

【0049】

【表1】

材質	熱伝導率(W/mK)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30
SiO <sub>2</sub> (Quartz)	14
AlN	260
SiC	100
C (Diamond)	660
BN	57
MgO	40
SiAlON	33
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	37

【0050】表1に示すように、本発明で使用するAlNやSiCなどの絶縁材料の熱伝導率は、従来からギャップ層として使用されているAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>の熱伝導率に比べて高い値を示している。また表1には、C(Diamond)の熱伝導率が660(W/mK)と記されている。この値は他の絶縁材料の熱伝導率に比べて非常に高い値であることがわかる。

【0051】本発明では、結晶質相と非晶質相とが混在したDLC(ダイヤモンドライクカーボン)がギャップ層2, 6として使用可能であるが、このDLCには非晶質相が含まれているので、前記DLCの熱伝導率は、D(Diamond)の熱伝導率に比べて低くなっているものと推測される。ただしDLCに占める結晶質相の割合を増やすことにより、DLCの熱伝導率を高めることが可能である。なお、前述したように、表1に示す各絶縁材料における熱伝導率はバルク材での値であるため、スパッタ法などにより前記絶縁材料を成膜したときの各絶縁材料における熱伝導率は、表1に示す熱伝導率に比べて低くなるものと推測される。

10

【0052】ところで、本発明においてギャップ層2, 6として使用されるAlNなどの絶縁膜の熱伝導率をさらに向上させるには、前記絶縁膜中に占める結晶質相の体積比率を高くすればよい。より好ましくは、前記絶縁膜の膜構造全体を結晶質相にすることである。また本発明では、AlNなどの絶縁膜に、前記絶縁膜よりも高い熱伝導性を有する非磁性金属粒子を混在させると、より一層、熱伝導率を向上させることが可能となる。

【0053】なお、前記非磁性金属粒子は、Cu, Ag, Au, Ti, Crのうちいずれか1種または2種以上の合金により形成されることが好ましい。このように、非磁性金属粒子を含んだAlNなどの絶縁膜で前記ギャップ層2, 6を形成すれば、前記ギャップ層2, 6の絶縁性を維持しつつ、熱伝導率をより一層高めることが可能である。

【0054】ただし前記非磁性金属粒子の平均粒径が非常に大きく、ギャップ層2, 6に占める絶縁膜の体積比率が極端に低下すると、前記ギャップ層2, 6の絶縁性は低下し、あるいは隣接する前記非磁性金属粒子が重なり合って導通状態となり、前記ギャップ層2, 6の絶縁性が完全に失われることがある。従って、本発明では、前記非磁性金属粒子の平均粒径はあまり大きくない方が好ましく、具体的には数nm以下である。なお、前記絶縁膜に非磁性金属粒子を混在させるには、絶縁材料と非磁性金属とのスパッタ等の同時成膜を行えばよい。

【0055】以上のように、本発明では、下部ギャップ層2および上部ギャップ層6(あるいはいずれか一方)が、熱伝導率に優れた例えばAlNやSiCなどの絶縁膜で形成されているので、磁気抵抗効果素子層16から発生する熱を、前記ギャップ層2, 6を介して効率良く、シールド層1, 7に逃がすことが可能である。また本発明では、前記絶縁膜に占める結晶質相の割合を増やし、あるいは前記絶縁膜に非磁性金属粒子を混在させることにより、前記ギャップ層2, 6の熱伝導率をより向上させることが可能である。

【0056】ところで本発明では、前述した絶縁膜の中でも、特にAlNをギャップ層2, 6として用いることが好ましい。AlNは、結晶性が良く、しかも表1に示すように高い熱伝導率を有しているからである。特にAlNで形成された絶縁膜の熱伝導率を向上させるには、結晶質相のある結晶面を、膜面に垂直な方向に優先配向させることが好ましい。

【0057】例えば、前記結晶質相の(002)面を膜面に垂直な方向に配向させるか、あるいは前記結晶質相の(220)面を膜面に垂直な方向に配向させることが好ましい。または、前記結晶質相の(002)面を膜面に垂直な方向に優先配向させることが好ましく、具体的な(002)面の配向度は、X線回折による(002)面/(220)面のピーク強度比が、0より大きく3、

11

しい。

【0058】(002)面/(220)面のピーク強度比が、3.5~9.7の間であると、熱伝導率が低下し、素子温度上昇率が大きくなることが実験によりわかった。(図15参照：なおグラフの説明については後述する)

すなわち、ギャップ層2, 6をAlNで形成する場合は、結晶質相のある結晶面を、膜面に垂直な方向に優先配向させることが好ましく、前記結晶質相の(002)面を膜面に垂直な方向に配向させるか、あるいは(220)面を膜面に垂直な方向に配向させ、または前記結晶質相の(002)面を膜面に垂直な方向に優先配向させ、具体的には、X線回折による(002)面/(220)面のピーク強度比が、0より大きく3.5以下であるか、あるいは9.7以上になるようにすることが、熱伝導率をより向上できる点から好ましい。

【0059】ところで、前述したようにAlNは、結晶性が良く、高い熱伝導率を有しており、ギャップ層2, 6として使用する絶縁膜としては最も好ましい絶縁材料の一つであるが、その反面、アルカリ水溶液に溶けやすいという性質を有している。なおアルカリ水溶液は、レジストパターンニング時に現像液として用いることから、前記ギャップ層2, 6は、アルカリ水溶液に溶けにくい性質を有している必要がある。

【0060】

【表2】

材質	エッチングレート( $\text{\AA}/\text{min}$ )
AlN	410
$\text{Al}_2\text{O}_3$	765
$\text{SiO}_2$	0.5
$\text{Ta}_2\text{O}_5$	$\approx 0$

【0061】表2には、各絶縁材料のアルカリ水溶液に対するエッチングレートが示されている。この表から見てわかるように、従来からギャップ層2, 6として使用されていた $\text{Al}_2\text{O}_3$ や $\text{SiO}_2$ などの絶縁材料に比べて、AlNのエッチングレートは非常に高くなっていることがわかる。

【0062】図7は、AlN膜を基板上に成膜した場合における、前記AlN膜の高分解TEM (Transmission Electron Microscopy) 像、図8は、図7に示す高分解TEM像写真の一部分を模式図で示した図である。図7, 8に示す高分解TEM像の番号1の部分は結晶質相であるが、この結晶質相は柱状晶となっていることがわかる。

【0063】図7を見てわかるように、結晶質相は、一つの塊が非常に大きく、基板上から、膜表面まで柱状晶となって形成される。AlN膜の熱伝導率が高い理由の一つは、結晶質相が図7に示すような柱状晶であること

12

が挙げられる。

【0064】またそれぞれの結晶質相の間は、非晶質で形成された結晶粒界相である。前述したように前記結晶質相は柱状晶であるから、前記結晶質相間に形成される前記結晶粒界相は、膜表面から基板(膜の下面)方向にかけて形成されていると考えられる。

【0065】アルカリ水溶液は、AlN膜の表面に形成されている(露出している)前記結晶粒界相からAlN膜内部に浸透していき、AlN膜を溶かすものと推測される。そこで本発明では、AlNよりもアルカリ水溶液に対して化学的安定性の高い軽元素、具体的には、B, C, O, Siのうちいずれか1種、または2種以上の混合物を含む非晶質相を前記結晶粒界相に析出させて、AlN膜の耐食性を向上させている。

【0066】なお表2に示すように、酸素( $\text{O}_2$ )を含む $\text{Al}_2\text{O}_3$ や、珪素(Si)を含む $\text{SiO}_2$ などは、AlNに比べてアルカリ水溶液に対するエッチングレートは低くなっていることから、OやSiを含有させることにより、耐食性を向上できると推測される。またAlN膜の結晶粒界相に、軽元素を含む非晶質相を析出させるには、B, C, O, Siなどの軽元素を含むAlNのターゲットをスパッタに用いればよい。

【0067】図9は、結晶粒界相に軽元素を含むAlN膜を基板上に成膜した場合における、前記AlN膜の高分解TEM (Transmission Electron Microscopy) 像、図10は、図9に示す高分解TEM像写真の一部分を模式図で示した図である。図9, 10に示す高分解TEM像の符号1は、結晶質相であり、符号2は結晶粒界相である。図9, 10に示す結晶質相は、図7, 8に示す結晶質相と同様に柱状晶となっていることがわかる。

【0068】また図9の高分解TEM像写真では、結晶質相(符号1)に隣接して帯状に形成されている結晶粒界相(符号2)は、白く写されているが、これは、前記結晶粒界相の部分にBやOなどの軽元素を含んでいるからである。これに対し、図7の高分解TEM像写真では、結晶質相(符号1)間に形成される結晶粒界相が不明瞭で、図9に示す結晶粒界相(符号2)のように、白く写し出されている部分がない。

【0069】これは、図7に示すAlN膜は、その結晶粒界相に、BやOなどの軽元素を含んでいないからである。なお、本発明のように、AlNの結晶粒界相にBやCなどの軽元素を含ませることにより、前記結晶粒界相における熱伝導率は小さくなると考えられるが、前述したようにAlN膜の結晶質相は柱状晶であるため、熱は良好に結晶質相を伝わっていくことができる。従って、熱伝導率の小さい結晶粒界相の存在は、熱の伝達にさほど影響しないものと考えられる。

【0070】また、本発明のように、AlNの結晶粒界相にBやCなどの軽元素を含む非晶質相を析出させることにより、AlNのアルカリ水溶液に対する耐食性は

13

上し、エッチングレートを、具体的には、前記結晶粒界相に軽元素を含んでいない時の410（オングストローム／min）（表2参照）から、約75（オングストローム／min）にまで低減させることが可能である。

【0071】図4は、下部ギャップ層2にA1N膜13を用いた場合の好ましい構造を示す薄膜磁気ヘッドの断面図である。図4に示すように、下部シールド層1の上には、絶縁材料の下地密着層12が形成され、この下地密着層12の上に、A1N膜13が形成されている。下部シールド層1の上に直接、A1N膜13を形成せず、前記下部シールド層1と、A1N膜13との間に、下地密着層12を介在させるのは、A1N膜13は、下層（下部シールド層1）との密着性が悪く、また膜応力も大きいために、剥離が起きやすくなっているからである。

【0072】このため、本発明では、下部シールド層1の上に、まず絶縁材料の下地密着層12を形成してから、前記下地密着層12の上にA1N膜13を成膜している。なお本発明では、前記下地密着層12は非晶質相でなければならない。仮に、前記下地密着層12が結晶質相であると、A1N膜13の格子定数と、前記下地密着層12の格子定数との相違から、前記A1N膜13の膜応力がより増大してしまうからである。

【0073】本発明では、前記下地密着層12は、膜応力が小さく、しかも密着性に優れた $Al_2O_3$ 、Si、 $SiO_2$ 、SiN、SiCのうちいずれか1種、あるいは2種以上の混合物で形成されることが好ましい。また本発明では、前記下地密着層12の膜厚はできる限り薄いことが好ましく、具体的には100オングストローム以下である。

【0074】前記下地密着層12の膜厚が大きくなると好ましくないのは、前記下地密着層12が $Al_2O_3$ などの熱伝導率の低い絶縁材料で形成されている場合、下部ギャップ層2の熱伝導率が低下してしまうことと、膜厚が大きくなることにより、前記下地密着層12が結晶質相を含み、前述したように、A1N膜13の膜応力が増大するからである。なおDLC（ダイヤモンドライクカーボン）膜で絶縁膜が形成される場合も、その絶縁膜の下に下地密着層12を形成することが好ましい。

【0075】さらに図4に示すように、A1N膜13の上には、絶縁材料製の保護層14が形成されている。前記保護層14を形成する理由の一つは、A1N膜13表面は非常に粗くなっているために、前記A1N膜13上に直接、磁気抵抗効果素子層16等を成膜しずらく、従って下部ギャップ層2表面の平坦化のために、A1N膜13上に前記保護層14を設けている。

【0076】またA1N膜13は、アルカリ水溶液に対して耐食性が悪く、このため結晶粒界相に化学的に安定なBやCなどの軽元素を析出させて耐食性を向上させることが好ましい。このとき、前記結晶粒界相に化学的に安定な

14

アルカリ水溶液に対して耐食性の高い絶縁材料を保護層14として使用すれば、前記A1N膜13の耐食性をより向上させることが可能になる。このため本発明では前記保護層14に、表2に示されている耐食性の高い $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $Ta_2O_5$ のうちいずれか1種、あるいは2種以上の混合物を用いることが好ましい。また前記保護層14は、できる限り薄いことが好ましい。

【0077】また図4に示す薄膜磁気ヘッドでは、上部ギャップ層6が従来から絶縁材料として使用されている $Al_2O_3$ などで形成されているが、下部ギャップ層2と同様に、前記上部ギャップ層6をA1N膜13で形成してもよい。この場合、前記A1N膜13の下側に、絶縁材料の下地密着層12を形成し、さらにA1N膜13の上側に絶縁材料の保護層14を設けることがより好ましい。

【0078】また本発明では、A1N膜13に、前記A1N膜13よりも高い熱伝導性を有する非磁性金属粒子を混在させてもよい。なお、前記非磁性金属粒子は、Cu、Ag、Au、Ti、Crのうちいずれか1種または2種以上の合金により形成されることが好ましい。次に本発明では、前記ギャップ層2、6の熱伝導率をより向上させるために、下部ギャップ層2および上部ギャップ層6（あるいはいずれか一方）の構造を改良している。

【0079】図5は、下部ギャップ層2と上部ギャップ層6の部分拡大断面図である。図に示すように、前記ギャップ層2、6は、絶縁層10と非磁性金属層11とが交互に積層された多層構造となっている。前記絶縁層10は、前述した熱伝導率に優れたA1N、SiC、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）、BN、MgO、SiAlON、AlON、 $Si_3N_4$ 、SiCO、SiN、SiON、SiCONのいずれか1種または2種以上から成る絶縁膜により形成されていることが好ましい。

【0080】その中でも特にA1Nを絶縁膜として用いることがより好ましい。また前記非磁性金属層11は、Cu、Ag、Au、Ti、Crのうちいずれか1種または2種以上の合金により形成されていることが好ましい。この発明では、絶縁層10、10間に、前記絶縁層10よりも優れた熱伝導率を有する非磁性金属層11を介在させているため、前記絶縁層10を単層で形成する場合よりも、より熱伝導率を向上させることが可能となる。またギャップ層2、6の絶縁性は、絶縁層10の絶縁性により十分に確保されている。

【0081】また、前述したように、前記絶縁層10は、熱伝導率に優れたA1Nなどの絶縁膜により形成されることが好ましいが、これ以外の絶縁膜、すなわち、従来からギャップ層として使用されている $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などを前記絶縁層10として使用してもよい。 $Al_2O_3$ や $SiO_2$ は、熱伝導率が低いものの、非常に高い絶縁性を有している。



15

2などで形成される場合、前記絶縁層10の膜厚はできる限り薄く形成されることが好ましい。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>で形成された絶縁層10の熱伝導率は低いために、前記絶縁層10があまり厚く形成されてしまうと、熱が前記絶縁層10を伝わらず、従来と同様に、磁気抵抗効果素子層16の素子温度を上昇させてしまうことになるからである。なお、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>で形成された絶縁膜10の膜厚は薄くても、十分な絶縁性を確保することができる。

【0083】なお、前述したAlNなど熱伝導率に優れた絶縁膜により、前記絶縁層10が形成された場合でも、十分な絶縁性を確保することができる範囲内において、前記絶縁膜10を可能な限り薄く形成する方が好ましい。前記絶縁膜10を薄く形成することにより、磁気抵抗効果素子層16から発生する熱を、より効率良く、シールド層1、7にまで逃がすことができるからである。また本発明では、ギャップ層2、6が図5に示す多層構造で形成される場合、磁気抵抗効果素子層16に対向する側の層は絶縁層10で形成される必要がある。つまり下部ギャップ層2が図5に示す多層構造で形成される場合、前記下部ギャップ層2の上層が絶縁層10で形成され、上部ギャップ層6が図5に示す多層構造で形成される場合、前記上部ギャップ層6の下層が絶縁層10で形成される。

【0084】これは、磁気抵抗効果素子層16と接するギャップ層2、6の層が、仮に非磁性金属層11で形成されてしまうと、前記磁気抵抗効果素子層16に流れる検出電流が、前記非磁性金属層11にも流れてしまうからである。また、上部ギャップ層6が図5に示す多層構造で形成される場合、図3に示す接続部9の周囲には、非磁性金属層11が形成されないようにしなければならない。前述したように、主電極層8から前記接続部9を介して電極層5に検出電流が流れるようになっているが、前記接続部9に接して非磁性金属層11が形成されてしまうと、接続部9から前記非磁性金属層11にも前記検出電流が流れてしまうからである。

【0085】図6は、図5に示す多層構造の最も単純な構造、つまり2層構造で下部ギャップ層2を形成した場合における薄膜磁気ヘッドの断面図である。図に示すように、磁気抵抗効果素子層16に対向する下部ギャップ層2の上層は、絶縁層10で形成されており、下部シールド層1に対向する下部ギャップ層2の下層は、非磁性導電層11により形成されている。なお本発明では、上部ギャップ層6が、下部ギャップ層2と同様に2層構造で形成されていてもよく、この場合、上部ギャップ層6の磁気抵抗効果素子層16と対向する下層が絶縁層10で、上部シールド層7と対向する上層が非磁性金属層11で形成される。

【0086】ただし上部ギャップ層6が、2層構造で形成される場合、図3に示す接続部9の周囲には、非磁性

16

金属層11が形成されないようにしなければならない。仮に、前記非磁性金属層11が前記接続部9に接して形成されてしまうと、前記非磁性金属層11にも主電極層8からの電流が流れてしまうからである。図6に示す上部ギャップ層6は単層で形成されているが、この上部ギャップ層6は、前述した熱伝導率に優れたAlNやSiCなどの絶縁膜により形成されていることが好ましい。

【0087】また前述したように、下部ギャップ層2を構成する絶縁層10は、熱伝導率に優れたAlNやSiCなどの絶縁膜により形成されることが好ましいが、熱伝導率の低いAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>で形成されていてもよい。ただしこの場合、前記絶縁層10の膜厚をできる限り薄くしておくことが好ましい。また、前記非磁性金属層11は、Cu、Ag、Au、Ti、Crのうちいずれか1種または2種以上の合金により形成されていることが好ましい。

【0088】この発明では、図5に示す多層構造の中でも最も単純な2層構造で下部ギャップ層2が形成されているため、最も少ない製造工程数で下部ギャップ層2を多層構造（2層構造）にすることができ、しかも容易に製造することができる。また、下部ギャップ層2には、熱伝導率に優れた非磁性金属層11が形成されているため、単層で形成されている上部ギャップ層6に比べて、より効率良く磁気抵抗効果素子層16から発生する熱を下部シールド層1に逃がすことができる。以上のように本発明では、下部ギャップ層と上部ギャップ層6のうち少なくとも一方（以下、ギャップ層2、6と記す）の材質や構造を改良して、前記ギャップ層2、6の熱伝導率を向上させている。

【0089】具体的な材質として本発明では、AlN、SiC、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）、BN、MgO、SiAlON、AlON、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiCO、SiN、SiON、SiCONのいずれか1種または2種以上から成る絶縁膜を挙げることができる。これら絶縁膜はいずれも、従来からギャップ層として使用されているAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>などの熱伝導率よりも高い熱伝導率を有している。また本発明では、より熱伝導率を高めるために、前記絶縁膜の結晶性を良くしたり、あるいは前記絶縁膜に非磁性金属粒子を混合させている。

【0090】特に本発明では、結晶性が良く高い熱伝導率を有するAlNをギャップ層2、6として使用することが好ましい。この場合、結晶質相のある結晶面が、膜面に垂直な方向に優先配向するようにし、例えば、前記結晶質相の（002）面を膜面に垂直な方向に配向させ、あるいは（220）面を膜面に垂直な方向に配向させ、または、前記結晶質相の（002）面を膜面に垂直な方向に優先配向させ、具体的には、X線回折による（002）面／（220）面のピーク強度比が、0より

大きく、2.5以下であるか、あるいは、2.5以上である

17

ことが好ましい。

【0091】上記に示した配向性を有すれば、A1N膜の熱伝導率をより向上させることが可能である。また本発明では、前記A1N膜の結晶粒界相に、例えばBやCなどの軽元素を析出させて、前記A1N膜の耐アルカリ性を向上させることが好ましく、さらに前記A1N膜の上に耐アルカリ性の高い絶縁材料で形成された保護層を設けることが好ましい。またA1N膜の下側には、絶縁材料の地下密着層を形成して、A1N膜の剥離を防止することが好ましい。ただし前記地下密着層は非品質相でなければならない。

【0092】次に、本発明では従来から単層として形成されていたギャップ層2、6の構造を、絶縁層と非磁性金属層とから成る多層構造、あるいは2層構造としており、これにより、前記ギャップ層2、6の熱伝導率をより一層高めることが可能である。このように材質あるいは構造を改良したギャップ層2、6は、絶縁性と高い熱伝導率を有している。従って、高記録密度化に対応するために、電流密度を高くしても、磁気抵抗効果素子層16から発生する熱は、前記ギャップ層2、6を介して効率良く、シールド層1、7に伝わるので、前記磁気抵抗効果素子層16の素子温度の上昇を抑制することができ、良好な再生感度を得ることができる。

【0093】

【実施例】本発明では、実施例として図1に示す下部ギャップ層2および上部ギャップ層6をA1Nで形成した薄膜磁気ヘッドを作製し、比較例として、前記下部ギャップ層2および上部ギャップ層6をA12O3で形成した薄膜磁気ヘッドを作製し、双方の薄膜磁気ヘッドにおける、検出電流と磁気抵抗効果素子16の温度上昇率との関係を調べた。その結果を図11に示す。なお実施例及び比較例の薄膜磁気ヘッドは、その素子直流抵抗(DCR)が、同じ値となるように形成されている。

【0094】図に示すように、ギャップ層2、6をA12O3で形成した場合と、ギャップ層2、6をA1Nで形成した場合のどちらであっても、検出電流を大きくすると、磁気抵抗効果素子層16の素子温度上昇率は大きくなるが、ギャップ層2、6をA1Nで形成した場合の方が、ギャップ層2、6をA12O3で形成した場合に比べて、温度上昇率を抑えることができることがわかる。これは、A1Nの方がA12O3に比べて熱伝導率が高いからであり、従ってギャップ層2、6をA1Nで形成する方が、磁気抵抗効果素子層16から発生する熱を効率良く、シールド層1、7に逃がすことができ、前記磁気抵抗効果素子層16の素子温度の上昇を抑制することが可能となる。

【0095】次に本発明では、A1Nにおける(002)面の配向性を調べ、(002)面の配向度と、素子温度上昇率との関係について測定した。図12は、A1Nターゲットを用いた場合、N2流量比を5%、10%、20%と変化させて成膜したA1N膜のX線回折像

18

である。図12に示すように、N2流量比が5%、10%、20%のいずれの場合においても、(002)面のピークが最も大きくなっている。

【0096】ここで、それぞれのN2流量比における、X線回折像の(002)面からの回折線と、(220)面からの回折線の強度比を調べると、N2流量比が5%の場合における(002)面/(220)面のピーク強度比は、7.0、N2流量比が10%の場合における(002)面/(220)面のピーク強度比は、10.7、N2流量比が20%の場合における(002)面/(220)面のピーク強度比は、4.3であることがわかった。次に本発明では、N2流量比を5%、10%、20%として成膜したA1N膜を図1に示すギャップ層2、6に使用し、磁気抵抗効果素子層16の素子部温度上昇度を測定した。

【0097】なお前記素子部温度上昇度は、(センス電流Isが20mAの時の素子部温度)/(センス電流Isが1mAの時の素子部温度)で測定した。その実験結果を図13に示す。なお各薄膜磁気ヘッドは、その直流抵抗(DCR)が全ての薄膜磁気ヘッドにおいて同じ値となるように形成されている。図13に示すように、N2流量比が10mAの時、すなわち(002)面/(220)面ピーク強度比が10.7の時に、最も素子部温度上昇度が小さく、次に素子部温度上昇度が小さくなっているのは、N2流量比が20mAの時、すなわち(002)面/(220)面ピーク強度比が4.3の時である。

【0098】最も素子部温度上昇度が大きくなっているのは、N2流量比が5%の時、すなわち(002)面/(220)面ピーク強度比が7.0の時である。この実験結果によりわかったことは、(002)面/(220)面のピーク強度比が、大きいほど素子部温度上昇度を低下できるとは一概に言えないということである。

【0099】図13に示すように、(002)面/(220)面ピーク強度比が7.0の場合の素子部温度上昇度は、(002)面/(220)面ピーク強度比が4.3の場合の素子部温度上昇度よりも大きくなっている。すなわち、(002)面/(220)面のピーク強度比には、素子部温度上昇度をより低下できる最適な範囲が存在するものと考えられる。

【0100】図14は、(002)面/(220)面ピーク強度比が、7.0、10.0、4.0の場合における検出電流(センス電流)と素子部温度上昇率との関係を示すグラフである。図14に示すように、検出電流を大きくすると、(002)面/(220)面ピーク強度比が7.0の場合が、最も素子部温度上昇率は大きくなり、最も素子部温度上昇率を小さくできるのは、(002)面/(220)面ピーク強度比が10.0の場合である。

19

【0101】ここで、図14に示す各ピーク強度比の曲線を、2次関数( $Y=aX^2+b$ ;  $a, b$ は定数)としてとらえ、それぞれの曲線における $a$ 値を調べた。なお実験では、(002)面/(220)面ピーク強度比が、2.0, 3.0, 6.0, 8.0, 12.0, 13.0の場合の検出電流と素子部温度上昇率との関係についても測定し、各ピーク強度比における $a$ 値を求めた。その実験結果を図15に示す。

【0102】図15に示すように、(002)面/(220)面ピーク強度比が大きくなるに従って $a$ 値は上昇し、(002)面/(220)面ピーク強度比が約7.0で、 $a$ 値は最大となる。また(002)面/(220)面ピーク強度比が約7.0以上になると、 $a$ 値は小さくなっていくことがわかる。前記 $a$ 値は小さいほど、検出電流に対する素子部温度上昇率を小さくできるから、本発明では、 $a$ 値が1.0以下になる場合を好ましい範囲とし、 $a$ 値が1.0以下になる(002)面/(220)面ピーク強度比を図14から求めた。

【0103】図15に示すように、(002)面/(220)面ピーク強度比が、3.5以下であるか、あるいは9.7以上であると、 $a$ 値を1.0以下にすることができて好ましいとわかる。また図15に示すように、

(002)面/(220)面ピーク強度比が0に近づいても、A1N膜の熱伝導率を向上させることができると考えられる。(002)面/(220)面ピーク強度比が1.0を下回り、0に近づくことで、(220)面が膜面に垂直な方向に優先配向する。

【0104】すなわち、A1N膜の熱伝導率を向上させるには、前記A1N膜の結晶質相のある面が、膜面に垂直な方向に優先配向していればよく、例えば、図15に示すように(002)面/(220)面ピーク強度比が、0よりも大きく3.5以下であるか、あるいは9.7以上であることが好ましい。または、(002)面/(220)面ピーク強度比が0と成なる場合、すなわち、結晶質相の(220)面が、膜面に垂直な方向に配向していることや、あるいは結晶質相の(002)面が、膜面に垂直な方向に配向していることが好ましい。

【0105】

【発明の効果】以上詳述した本発明によれば、下部ギャップ層および/または上部ギャップ層を、従来からギャップ層として使用されている $Al_2O_3$ などの熱伝導率よりも高い熱伝導率を有するA1NやSiCなどで形成しているので、磁気抵抗効果素子層から発生する熱を効率良くシールド層に伝えることが可能である。

【0106】また、A1NやSiCなどの結晶化度を高めたり、あるいは非磁性金属粒子を混合させれば、より熱伝導率を高めることが可能である。

【0107】本発明では、特にギャップ層としてA1Nを使用することが好ましく、A1Nの(002)面を膜面に垂直な方向に優先配向させることが、熱伝導率を上

20

り向上させることができる点で好ましい。

【0108】具体的には、(002)面/(220)面のピーク強度比を、3.5以下にするか、あるいは9.7以上にすることが好ましい。

【0109】また本発明では、A1Nをギャップ層として使用する場合、結晶粒界相にB, Cなどの軽元素を析出させることが、アルカリ水溶液に対する耐食性を向上させることができる点で好ましい。

【0110】さらに、A1N膜の下側には、非磁性材料で、且つ非品質の $Al_2O_3$ などの下地密着層を形成することが、前記A1N膜の剥離を防止できる点で好ましい。

【0111】また本発明では、ギャップ層を絶縁層と、前記絶縁層よりも高い熱伝導率を有する非磁性金属層とから成る多層構造あるいは2層構造で形成しているので、前記ギャップ層を単層で形成するよりも、より熱伝導率を高めることが可能となっている。

【0112】以上のように本発明では、ギャップ層の材質または構造を改良して前記ギャップ層の熱伝導率を向上させることができるので、高記録密度化に伴い、電流密度を高めても、磁気抵抗効果素子層から発生する熱を効率良く、シールド層に伝えることができ、従って前記磁気抵抗効果素子層の素子部温度の上昇を抑制することができ、良好な再生感度を得ることが可能となっている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態の構造を示す薄膜磁気ヘッドの拡大断面図、

【図2】図1の平面図、

【図3】図2に示す3-3線の断面図、

【図4】本発明の第2の実施形態の構造を示す薄膜磁気ヘッドの拡大断面図、

【図5】本発明の第3の実施形態の構造を示すギャップ層の拡大部分断面図、

【図6】本発明の第4の実施形態の構造を示す薄膜磁気ヘッドの拡大断面図、

【図7】軽元素を含有しないA1N膜の高分解TEM像写真、

【図8】図7に示す高分解TEM像写真の部分模式図、

【図9】軽元素を含有するA1N膜の高分解TEM像写真、

【図10】図9に示す高分解TEM像写真の部分模式図、

【図11】ギャップ層をA1Nで形成した場合と、ギャップ層を $Al_2O_3$ で形成した場合の検出電流と磁気抵抗効果素子部温度上昇率との関係を示すグラフ、

【図12】 $N_2$ 流量比を5%, 10%, 20%とした場合におけるA1N膜のX線回折像、

【図13】ギャップ層をA1Nで形成した場合におけるスパッタ時の $N_2$ 流量比と、素子部温度上昇度との関係を示すグラフ

【図14】ギャップ層として形成されたAlN膜の(002)面/(220)面のピーク強度比が、4.0、7.0、10.0の場合における検出電流と素子部温度上昇率との関係を示すグラフ、

【図15】図14に示す各強度比における曲線を2次関数( $Y=aX^2+b$ )としてとらえた場合、(002)面/(220)面のピーク強度比と、a値との関係を示すグラフ、

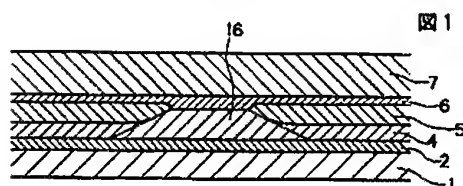
【図16】従来の実施形態の構造を示す薄膜磁気ヘッドの拡大断面図、

【符号の説明】

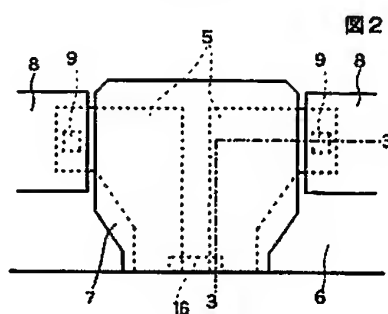
- 1 下部シールド層  
2 下部ギャップ層

- 4 ハードバイアス層  
5 電極層  
6 上部ギャップ層  
7 上部シールド層  
8 主電極層  
9 接続部  
10 絶縁層  
11 非磁性金属層  
12 下地密着層  
13 AlN膜  
14 保護層  
16 磁気抵抗効果素子

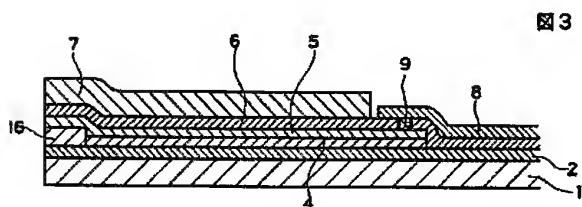
【図1】



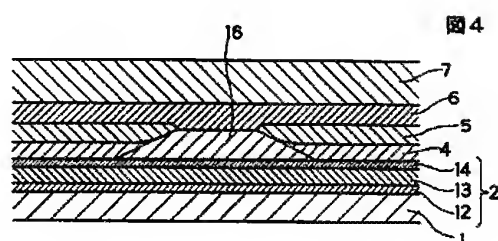
【図2】



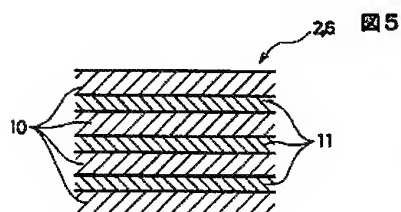
【図3】



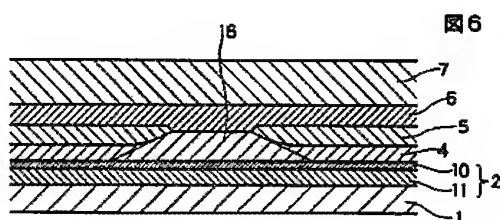
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

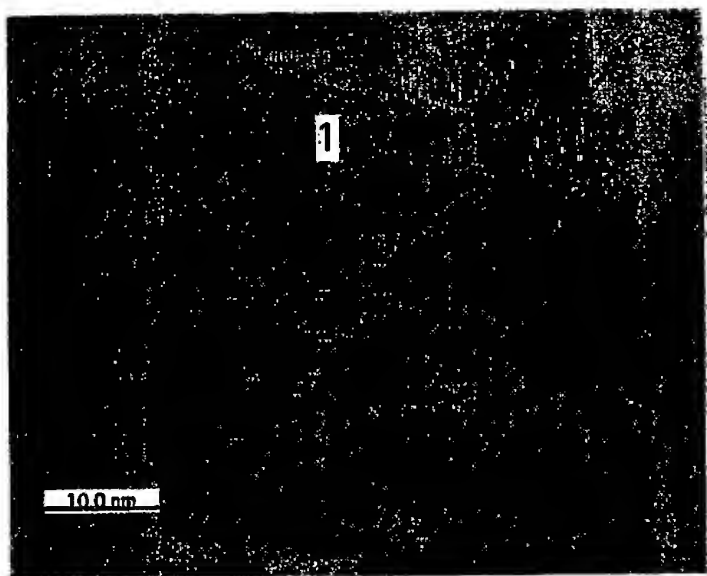
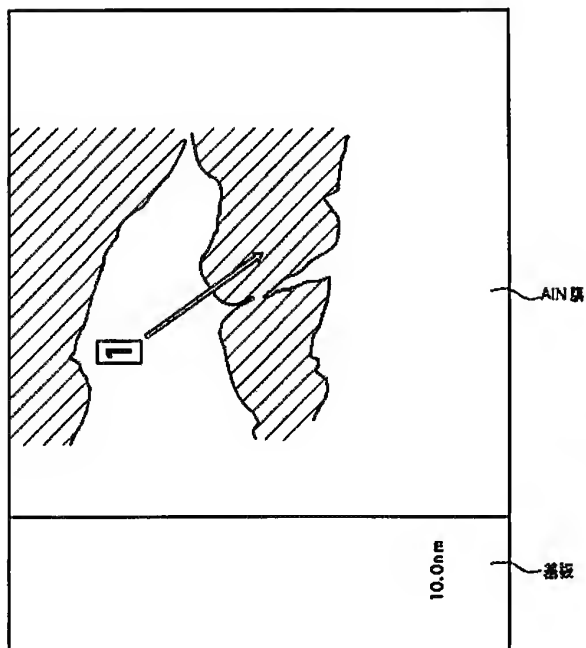


図7

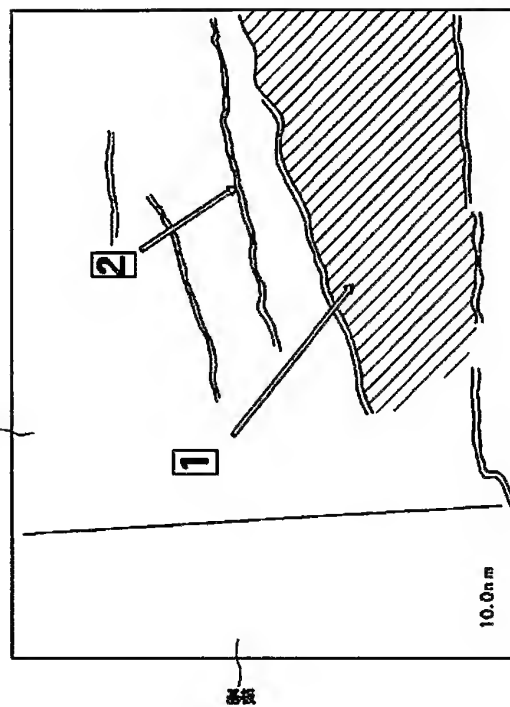
【図8】

図8



【図10】

図10





【図9】

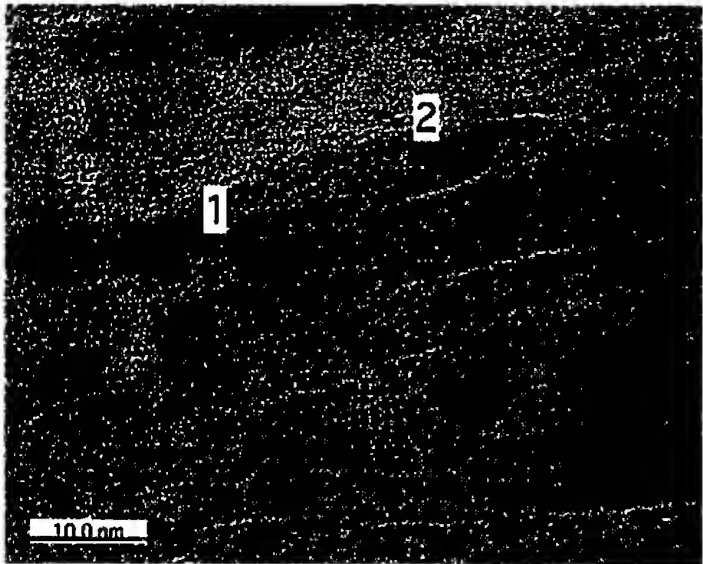
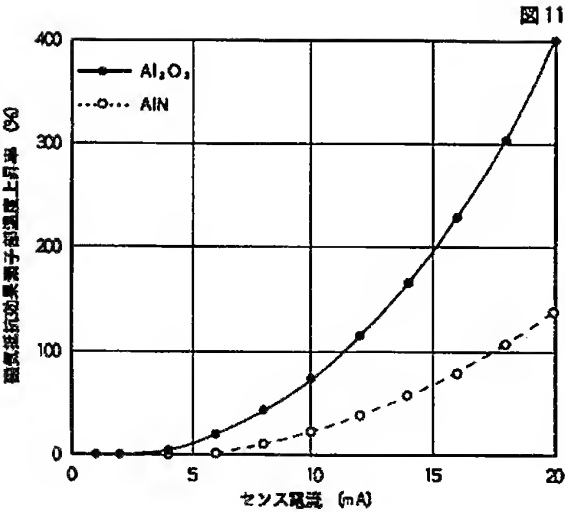
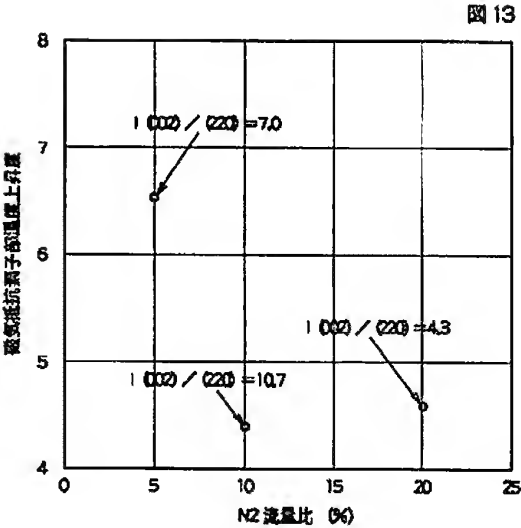


図8

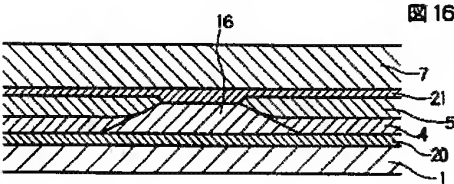
【図11】



【図13】

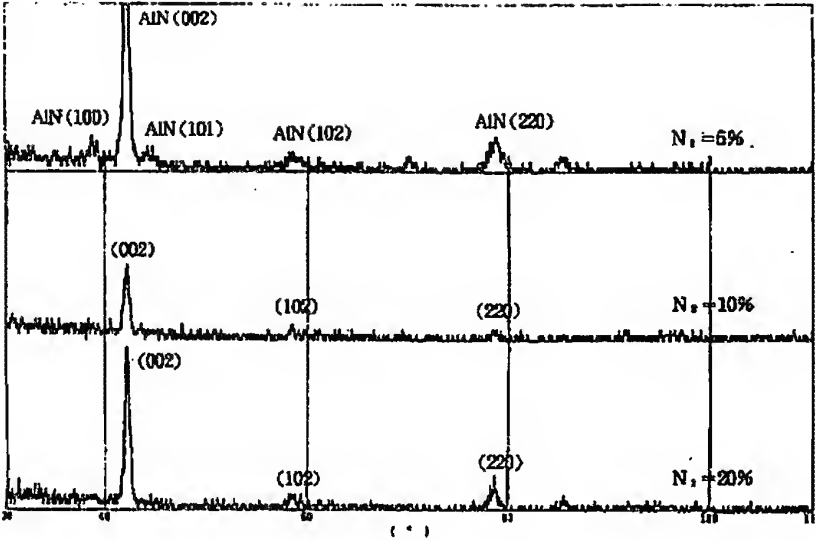


【図16】



【図12】

図12



【図14】

【図15】

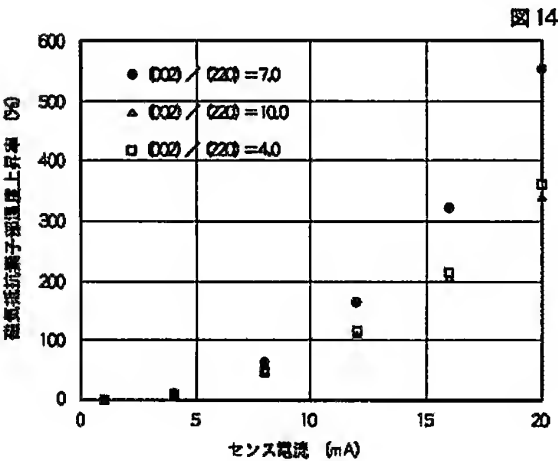


図14

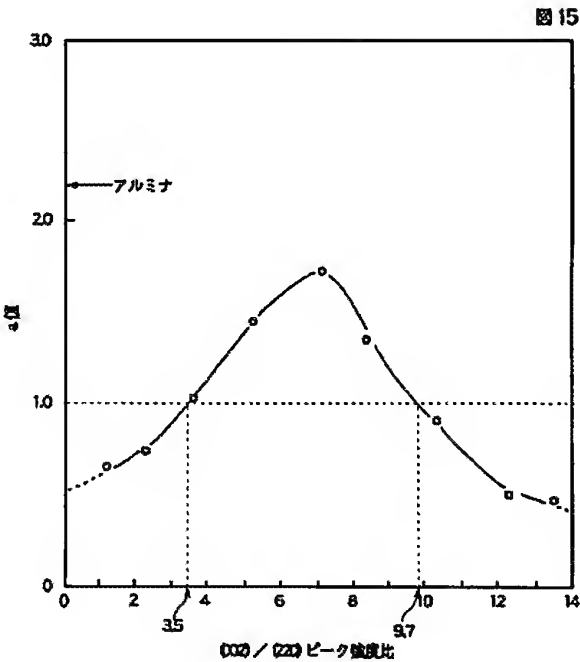


図15